

## PUENTE SOBRE EL EMBALSE DE BARRIOS DE LUNA LEON/ESPAÑA

(BRIDGE OVER THE RESERVOIR OF «BARRIOS DE LUNA»)

**José Manuel López Sáiz**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
HUARTE Y CIA., S. A.

564-35

### RESUMEN

*El puente Carlos Fernández Casado salva el brazo principal del embalse de Barrios de Luna, a la altura del antiguo pueblo de San Pedro de Luna, hoy inundado en aguas altas.*

*Se trata de un puente atirantado de 440 m de luz entre sus torres, con vanos laterales de 65 m cada uno.*

*En su ejecución se han contemplado las siguientes fases:*

- Contrapesos.
- Torres.
- Riostras.
- Dintel.
- Tirantes.
- Construcción del tablero.
- Auscultación y control.

*El puente está articulado en el centro y con libre movimiento longitudinal para permitir los movimientos producidos por retracción, fluencia y dilatación. Esta situación exige la ejecución, en el centro del vano, de una rótula que permita giros verticales y desplazamientos horizontales a lo largo del eje del puente y que impida el resto de los movimientos.*

*Tanto el proyecto como la construcción se han dirigido no sólo a la ejecución de una estructura fiable desde el punto de vista resistente sino también a lograr una obra equilibrada y estética que sirva para disfrute de los usuarios de la autopista.*

### SUMMARY

*The bridge Carlos Fernández Casado covers the principal arm of the reservoir of Barrios de Luna, at the height of the former bridge of San Pedro de Luna, today covered by high waters.*

*It is a suspension bridge with 440 m of space between its towers, with lateral bays each of 65 m.*

*In carrying out the work the following phases were contemplated:*

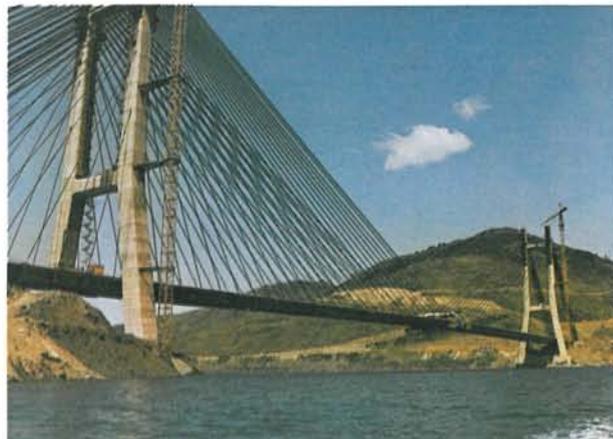
- Counterweights.
- Towers.
- Braces.
- Lintel.
- Suspension.
- Construction of the board.
- Auscultation and control.

*The bridge is articulated in the center and with free longitudinal movement in order to permit the movements produced by retraction, flow and dilatation. This situation demands the carrying out, in the center of the bay, of a cap which permits vertical gyrations and horizontal displacements along the axle of the bridge and which prevents the rest of the movements.*

*Both the project and the construction have been directed not only toward a viable construction from the point of view of resistance but also to obtain a balanced and esthetic work for the users of the highway.*

El puente CARLOS FERNANDEZ CASADO salva el brazo principal del embalse de BARRIOS DE LUNA a la altura del antiguo pueblo de SAN PEDRO DE LUNA, hoy inundado en aguas altas.

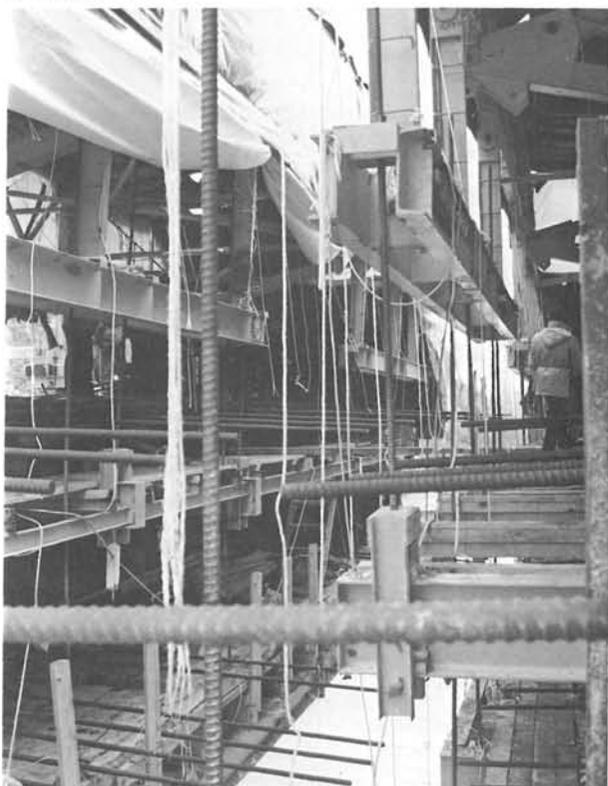
El anteproyecto se efectuó mediante un puente con quince vanos de 40 m, pero la dificultad de cimentar en un embalse con fluctuaciones de la lámina de agua de más de 35 m en dos meses y medio y la presencia de una capa de acarreo de 8 a 15 m de espesor con bolos de más de un metro de diámetro, sobre una capa de calizas fuertemente karstificadas, hizo variar las luces estudiadas hasta sobrepasar los 180 m de luz. En ese momento se calculó el coste de un puente atirantado que permitiera independizar sus cimentaciones del embalse y de los problemas geotécni-



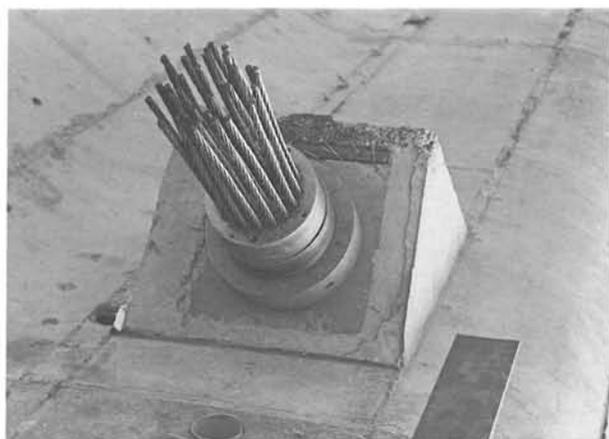
Vista general.



Ferrallado dovelas de clave.



Vista general de los carros de avance.



Anclaje inferior de tirante.

cos de su lecho. Dicho coste resultó muy similar al del puente de 180 m de luz, lo que hizo escoger la solución atirantada como proyecto definitivo.

El puente de BARRIOS DE LUNA es, por ello, un puente atirantado de 440 m de luz entre sus torres, con vanos laterales de 65 m cada uno.

### Contrapesos

Dada la pequeña longitud de los vanos laterales en proporción con la luz central ha sido necesaria la construcción, en cada extremo del puente, de sendos contrapesos de hormigón a los cuales se anclan los dos tercios de los cables traseros. Esta solución rigidiza mucho más las torres que si se hubiesen anclado los tirantes en vanos largos de compensación, disminuyendo los esfuerzos en la misma y permitiendo mayor esbeltez.

Los contrapesos tienen un volumen de hormigón de 8.000 m<sup>3</sup> en el lado Norte y de 10.000 m<sup>3</sup> en el Sur. Esta diferencia no es debida a que los esfuerzos a soportar sean distintos sino a que, por las características del terreno en que se encuentran empotrados en el lado Sur, se ha de prever que el contrapeso quede inundado hasta una cierta cota, siendo necesario por ello calcular el peso del hormigón hasta esa altura con una densidad de 1,4 t/m<sup>3</sup> en lugar de las 2,4 t/m<sup>3</sup> normales.

En los contrapesos se han construido unas galerías longitudinales, coincidiendo en alineación con los bordes del puente y en cuya losa superior se encuentran los anclajes de los cables traseros, situados por parejas.

La zona superior de los contrapesos va pretensada longitudinalmente por las barras que más adelante forman el pretensado del tablero, mientras que transversalmente lo está mediante unidades formadas por cables de torones de 0,5" con anclajes de cuña (tipo Freyssinet o C.T.T.). Este pretensado sirve para soportar los esfuerzos de flexión en la losa superior de las galerías, producido por el tiro de los tirantes.

A los lados de la galería, otros cables de pretensado transmiten las cargas, producidas por los tirantes sobre los anclajes, al resto del contrapeso, mientras que unos cables parabólicos, que nacen en la parte superior de los laterales del contrapeso y pasan por la parte inferior del mismo en su zona central, sirven para hacerlo solidario en su conjunto, consiguiendo que trabaje como un todo único frente a los esfuerzos verticales.

Para su ejecución, el contrapeso se ha dividido en bloques de unos 150 m<sup>3</sup> de hormigón (cantidad a ejecutar en una jornada) y se ha hormigonado siguiendo un proceso que permitiera, con facilidad,

la disipación del calor de fraguado, evitando grietas y consiguiendo un mejor monolitismo de todo el contrapeso.

En la losa superior de las galerías se dejaron los tubos de paso de los cables a los cuales va soldada la placa de apoyo de los anclajes. La colocación exacta de estos tubos, necesaria para la perfecta colocación posterior de los tirantes y de sus anclajes, exigió un trabajo muy cuidadoso de topografía.

### Ejecución de las torres

Las torres, de 90 m de altura sobre el tablero, tienen alturas diferentes sobre la cimentación, debido a las características del terreno en cada una de ellas.

En el Sur, con una roca de cimentación muy resistente compuesta por areniscas ferruginosas de la formación San Pedro, que permitía cargas elevadas sin miedo a la aparición de asentamientos a torre, se construyó mediante zapatas independientes para cada uno de los pilonos que la forman.

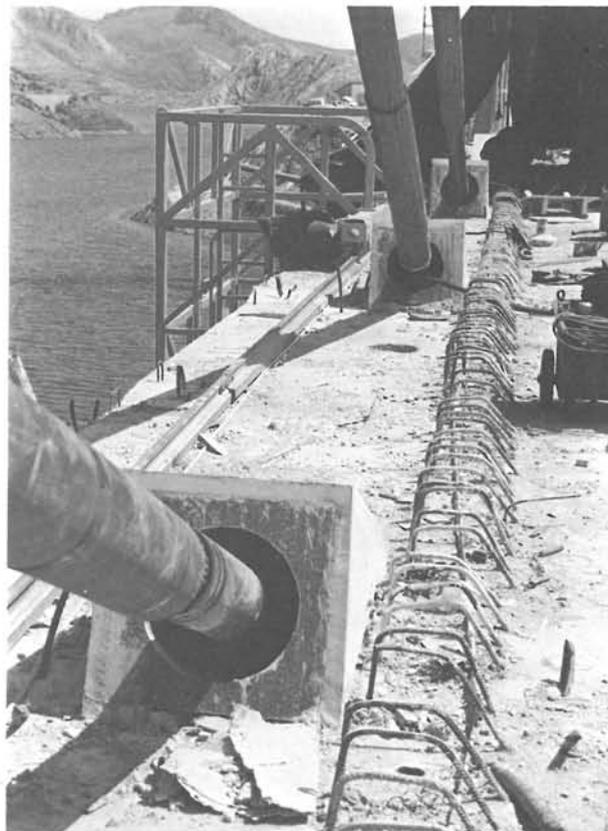
Al ser las zapatas independientes y debido a la inclinación del terreno (subiendo de este a oeste), éstas quedan a distinta altura, lo que hace que también tengan distinta altura cada uno de los pilonos.

En la torre norte, el terreno de cimentación está compuesto por una alternancia de areniscas ferruginosas y paquetes de pizarra, siendo éstas últimas bastante más blandas, lo que ha obligado a una cimentación única para la torre, que al recoger las cargas de ambos pilonos, por su rigidez transversal evite la aparición de asentamientos diferenciales. En esta cimentación se ha limitado la carga máxima sobre el terreno a  $100 \text{ KN/m}^2$ .

Esta cimentación consiste en un gran cajón rigidizado interiormente por tabiques longitudinales y transversales y pretensado en el sentido transversal del puente mediante unidades clásicas de cables de torones y anclajes de cuña.

Las torres están formadas por dos pilonos, inclinados en su parte inferior para salvar el tablero y verticales en la superior, unidos entre sí mediante dos riostras: la primera a la altura en que los pilonos cambian de inclinación y la otra a unos 9 m por debajo de la cota superior de la torre.

Esta forma viene determinada por el deseo de tener todos los tirantes en un mismo plano vertical, evitando así esfuerzos transversales en los anclajes de la torre, lo que habría producido fuertes esfuerzos de flexión en los pilonos obligando a hacerlos más gruesos, lo cual había disminuido la calidad estética, al quitar esbeltez a la torre.



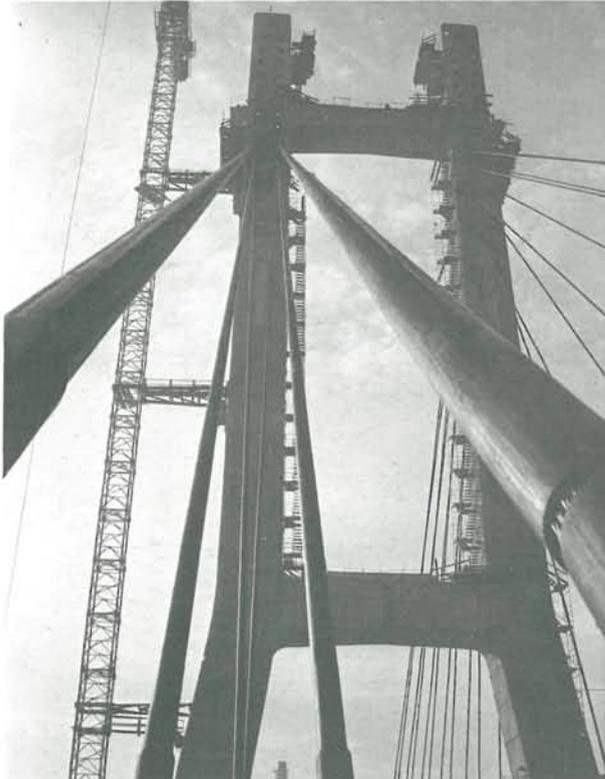
Vista del tablero con el apoyo del cono inferior de tensado.



Cabeza de la torre.



*El dintel llega bajo la torre sur.*



*Vista general de la torre.*



*Situación de los trabajos en mayo de 1983.*

La construcción de la torre se hizo utilizando encofrados trepantes (tipo PERI) de 3,5 m de altura de trepada. Estos encofrados consisten en una serie de plataformas que van ancladas al hormigón ya endurecido y que soportan una serie de elementos verticales sobre los que se apoya el encofrado definitivo.

El movimiento de estos equipos, una vez hormigonado un módulo y endurecido el hormigón, se hacía dividiendo el encofrado en paneles que se elevaban mediante la grúa auxiliar, colocada junto a cada una de las torres. Esta grúa, apoyada sobre la cimentación de las torres y arriostrada a la misma cada cierta altura, se iba trepando y arriostrando a medida que se ejecutaba la torre.

Los pilonos son huecos hasta llegar a la altura del tablero, a partir de donde se convierten en sección maciza.

#### Riostras

La ejecución de la parte inclinada exigió en la zona Sur, por su mayor longitud, la construcción de una riostra provisional a la altura aproximada del tablero para reducir los esfuerzos de flexión que se producían al trabajar el pilono como ménsula. En ambos lados fue necesaria una riostra provisional situada inmediatamente debajo de la primera riostra definitiva, para recoger los esfuerzos debidos al peso del pilono y al de la propia riostra de hormigón durante su construcción.

Esta riostra provisional se comprimió contra los pilonos mediante gatos hidráulicos para lograr una ligera recuperación de los momentos en los pilonos y conseguir una precompresión inicial en la riostra en el momento del desencofrado.

Terminada la primera riostra se continuó la construcción de la torre hasta llegar con los pilonos a la altura de la segunda, que se encofró con los mismos equipos utilizados para la primera, pero sin efectuar ninguna compresión contra los pilonos. Esta riostra una vez hormigonada se pretensó mediante unidades a base de cables de torones.

Terminada la segunda se construyó el resto de la torre hasta su cota definitiva.

Se empleó como armadura acero corrugado tipo 50, cuidándose especialmente los empalmes de barras verticales para lograr una adecuada transmisión de esfuerzos, utilizándose para ello un zunchado del hormigón que rodea el empalme mediante una espiral de alambre de 5 mm.

La parte más difícil de la ejecución de los pilonos ha sido el replanteo, tanto de los encofrados como, sobre todo, de los tubos de paso de los cables y las placas de apoyo de los anclajes. La

precisión exigida es muy grande para poder lograr la posterior perpendicularidad entre chapa y anclaje por un lado y evitar, por otro, que el cable tropiece contra el tubo de paso desviándose de la situación de proyecto.

Si tenemos en cuenta que la pila tiene movimientos a lo largo del día por diferente soleamiento entre sus caras; que una vez colocados los tubos se procedía a cerrar los encofrados y ferrallar el pilono —procesos en los cuales se podía mover el tubo— y que parte de la torre se ejecutó al tiempo que se construía el dintel, con lo cual se producían movimientos al hormigonar dovelas o al poner en carga los cables de atirantado, se puede comprender que el problema del replanteo exigió un cálculo cuidadoso de las cotas en función de la situación definitiva del puente y, al mismo tiempo, numerosos cálculos y correcciones a lo largo del proceso según el movimiento de la pila, que fue necesario controlar frecuentemente durante el período de replanteo y posteriores comprobaciones.

El replanteo se hizo por bisección mediante bases situadas en las montañas próximas y en la carretera al otro lado del embalse. Todo el trabajo se hizo por duplicado, mediante dos equipos distintos y se creó un pliego de condiciones muy detallado en cuanto a proceso y cotas de errores admisibles para dar por aprobado un replanteo.

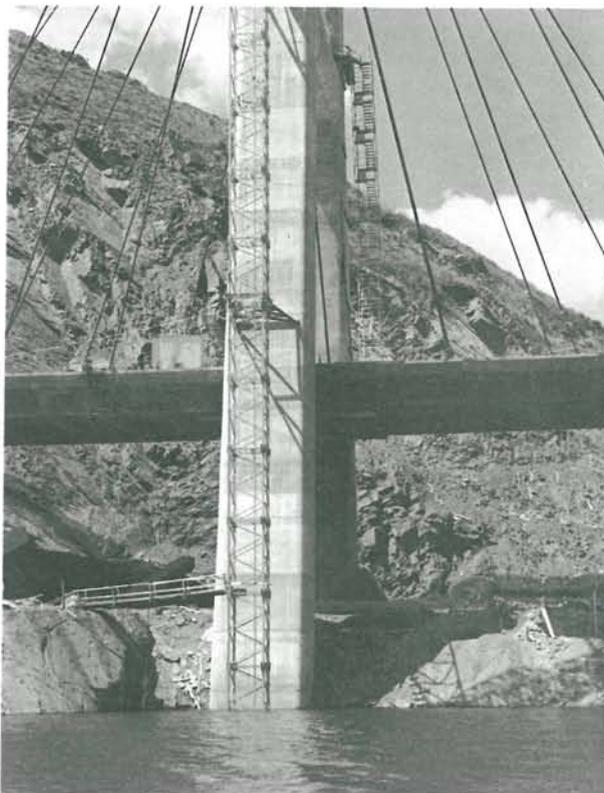
El hormigón empleado, al igual que el utilizado en el dintel, se fabricó en sendas plantas situadas próximas a cada uno de los lados. En la confección del mismo se utilizó un superfluidificante (SIKAMENT) para poder utilizar relaciones agua/cemento de alrededor de 33 con una manejabilidad adecuada. Su elevación y puesta en obra en la torre se efectuó mediante la grúa a que hemos hecho referencia, la cual se utilizó también para la subida de personal a la torre durante toda la obra, utilizando una «jaula» proyectada y construida expresamente para ese fin. Para la subida y bajada del personal se utilizaba, como medida de seguridad, una escalera tipo JJEIP anclada sobre la pila y en toda la altura de la misma.

### Ejecución del dintel

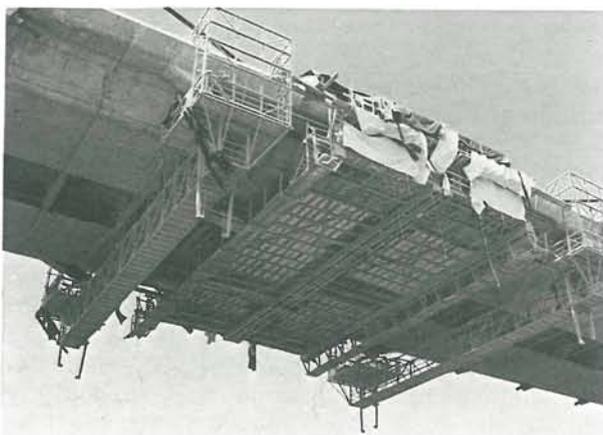
El dintel, cuya sección transversal en cajón tiene 22,5 m de ancho, con altura variable de 2,3 a 2,5 m con cuatro tabiques —verticales los dos interiores y fuertemente inclinados los exteriores por razones aerodinámicas— se ha efectuado hormigonando in situ trozos de 4,08 m de longitud y en toda la anchura. Esta medida se ha escogido por ser la separación existente entre riostras transversales del puente de forma que, en cada trozo, se incluía una de estas riostras que se construía en la parte posterior del mismo para que el frente de la dovela y toda la profundidad de la misma quedaran libres de obstáculos transversales.



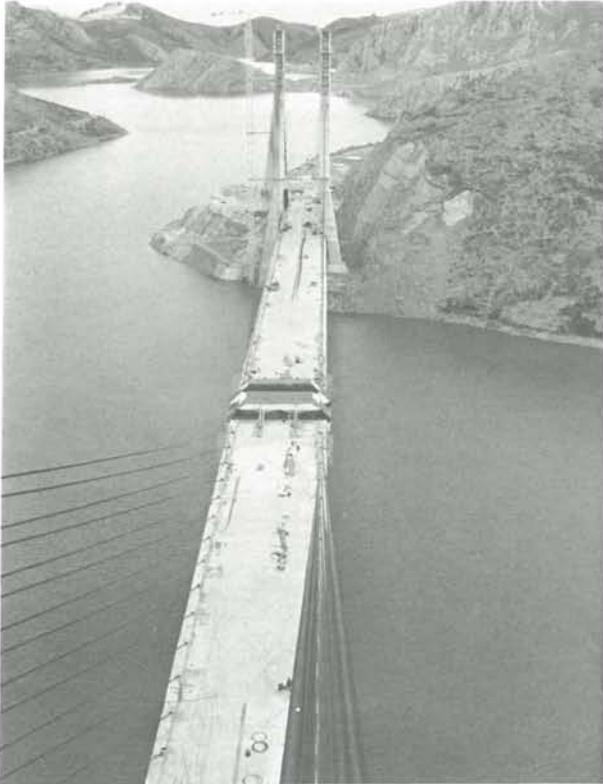
Situación en abril 1984.



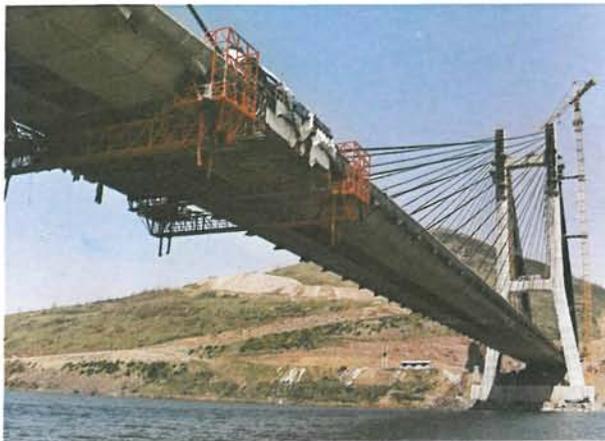
Torre sur.



Comienzo de ejecución de dovela de cierre.



Vista del dintel.



Vista inferior del dintel, antes del cierre, con los conos interiores de tensado posicionados para destensar los cables n.º 26.

Para la construcción de las dovelas se utilizó un carro de avance (encofrado móvil). La elección del equipo fue debida a que, por su diseño y el empleo de perfiles especiales en cuanto al tipo y calidad del acero, tenían un peso notablemente inferior al de las restantes ofertas. El peso de cada equipo, con todos los elementos incluidos (plataformas, cubierta, doble encofrado con aislamiento, etc.) es de alrededor de las 96 t.

Este equipo es totalmente autoportante, tanto durante el hormigonado, para lo cual se apoya y está anclado en la dovela anteriormente construida, como durante su movimiento.

### Proceso constructivo

El proceso general de ejecución de una dovela, partiendo del momento en que se ha terminado completamente una de ellas y estando situado aún el carro en la posición de hormigonado de la misma, es el siguiente:

En primer lugar se sueltan los anclajes de la vía, la cual está compuesta por dos dobles T soldadas y se corre sobre el hormigón de la losa superior del dintel hasta llegar al borde de la última dovela hormigonada. En este momento se procede de nuevo al anclaje de la vía al dintel, de forma que pueda soportar esfuerzos horizontales y fundamentalmente verticales.

Puesta la vía en posición se aflojan los gatos delanteros del carro de forma que éste pase a apoyar sobre la vía a través de los rodillos (tanquetas) de arrastre y se suelta el anclaje posterior de manera que el tiro del carro pasa a efectuarse sobre la vía a través de las ruedas invertidas que el carro posee en su parte posterior. Este proceso hace descender el encofrado despegándolo del hormigón.

En estas condiciones el carro se arrastra sobre la vía mediante cuatro trácteles, hasta llegar a la posición de hormigonado de la siguiente dovela.

Con la estructura principal se mueve la estructura general, las vigas de soporte interiores y los encofrados exteriores (lateral e inferior) quedando bajo la dovela hormigonada los encofrados interiores de los cuales sólo se mueven las vigas portantes que sirven posteriormente de camino de rodadura para su movimiento.

Con el carro en esta situación se procede al replanteo del mismo y a colocarlo en su situación definitiva. Todas las cotas se sitúan relativamente a la dovela anterior para estar libres de los movimientos por variación de temperatura que se producen a lo largo del día.

Una vez en posición se comienza el ferrallado de la losa inferior y de los tabiques y tacones laterales así como a colocar los tubos de paso del cable con las placas de apoyo correspondientes, si es una dovela en la que ancla un tirante (una sí y otra no).

Terminada la ferralla anterior se mueven los encofrados interiores de las células laterales y se ferrallan los tabiques verticales.

Se corre, entonces, el encofrado interior de la célula central y se comienza el ferrallado de la losa superior.

Mientras se efectúa esta última operación se ferralla, desde el interior de la dovela anterior, el tabi-

que transversal de la dovela, que se va construyendo en la parte posterior de la misma con el fin de dejar libre su parte delantera para facilitar el movimiento de los encofrados interiores.

El encofrado posterior del tabique se desmonta en pequeños paneles y se pasa a su nueva posición a través de los huecos existentes, a este fin, en los tabiques. Una vez terminado el ferrallado de la riostra se coloca este encofrado posterior y la dovela queda lista para hormigonar.

Durante el proceso de ferrallado, se colocan también las barras de pretensado longitudinal, así como el pretensado de las riostras y el de refuerzo. El pretensado longitudinal está compuesto por barras Dywidag de 8,16 m de largo cada una y que empalman a las existentes en la dovela anterior. En cada dovela se empalman la mitad de las barras y se anclan la otra mitad, que ya viene de la dovela anterior. Estas barras son lisas, de acero especial y roscadas en sus extremos por extrusión.

El pretensado de las riostras (o tabiques transversales de la dovela) se hace mediante cables de torones con anclajes FREYSSINET, suministrados por esta empresa a «FYCEA», agrupación temporal de empresas entre Freyssinet Española, S. A. y Centro de Trabajos Técnicos, S. A., que es la encargada de los trabajos de pretensado en el puente.

En el caso en que la dovela lleve anclaje de tirante (ya hemos dicho que en una de cada dos), existe un pretensado adicional en las almas exteriores, también tipo cable, con el fin de recoger los esfuerzos cortantes producidos en la zona de anclaje, ya que éstos no se encuentran situados en el mismo plano que las riostras.

Por último en las almas interiores existe un pretensado a base de barras DYWIDAG inclinado a 45 grados para soportar los esfuerzos cortantes que se producen al hormigonar las dovelas siguientes mientras el hormigón no ha alcanzado toda su resistencia.

Terminado todo este proceso se comprueba la situación del carro para ver que es correcta o efectuar las modificaciones necesarias y se procede al hormigonado de la dovela.

El hormigón empleado, cuya resistencia característica exigida es de 45 MPa, lleva 400 kg de cemento ARI de «La Robla» por m<sup>3</sup>, amasándose con una relación agua/cemento de 0,33, empleando un superplastificante de SIKA (Sikament) para conseguir una consistencia tal que permita su bombeo. La cantidad utilizada de Sikament es de alrededor del 3% en peso del cemento, sin superar nunca esta cantidad.

Para conseguir un ciclo corto en la ejecución de las dovelas es necesario lograr la resistencia mí-



Dintel y pila sur.

nima en el hormigón que permita continuar el proceso, en el tiempo más breve posible. En nuestro caso se estimó que dicha resistencia (25 MPa) debía alcanzarse antes de las 24 h. Sabíamos, por el plan de obra establecido, que deberíamos hormigonar en tiempo frío (en la zona de Barrios de Luna las temperaturas medias en invierno fluctúan alrededor de los 2 °C bajo cero, con mínimas de -18 °C.). Por esta razón se tomaron las medidas necesarias para lograr los plazos antes indicados:

- Calefacción de los áridos.
- Calentar el agua de hormigonado.
- Aislar térmicamente los encofrados exteriores mediante inyección de espuma de poliuretano.
- Proteger la zona de trabajo mediante una cubierta de lonas, calentando su interior así como el interior de las dovelas mediante estufas, a fin de conseguir que la temperatura ambiente en la zona de trabajo no sea nunca inferior a los 10 °C.

Mediante estas medidas y llevando el hormigón al tajo a una temperatura alrededor de los 20 a 22 grados centígrados se han conseguido las resistencias necesarias entre las 18 y las 24 horas.

La resistencia del hormigón se controlaba sobre el propio hormigón de la dovela ya que las condicio-



Dintel y pila norte.

nes de curado son muy diferentes de las normalizadas para el curado de probetas. Este control se efectuaba mediante el sistema LOCK-TEXT, utilizando piezas de ensayo colocadas antes de hormigonar en aquellas zonas que considerábamos más significativas, bien por ser zonas de mayores tensiones o por ser zonas donde las resistencias podían ser menores (zonas de pequeño espesor, más afectadas por las bajas temperaturas, las últimas hormigonadas, etc.).

Una vez conseguida la resistencia necesaria en el hormigón se procede a la colocación de anclajes y al pretensado de barras y cables de la dovela, momento a partir del cual se puede proceder al movimiento del carro completándose, por tanto, un ciclo de trabajo. La duración de este ciclo era de tres días.

A lo largo del ciclo, y fundamentalmente al principio y final del mismo, se efectuaban de forma sistemática mediciones topográficas a las 8 de la mañana, hora a la que la temperatura se mantiene más igualada a lo largo de los días y comparándose las cotas obtenidas con las de cálculo de la estructura en la situación medida. Estas mediciones, hechas en cotas absolutas, permitían efectuar los cálculos en cotas relativas que se utilizaban en el replanteo diario, así como hacer las correcciones oportunas si fuera necesario.

### Tirantes

La colocación, puesta en carga e inyección de los cables se subcontrató por HUARTE y CIA., S. A. a la agrupación temporal de empresas FYCEA que realizaba estos trabajos bajo la supervisión de Huarte y Cia., S. A. paralelamente a los procesos vistos anteriormente.

El montaje y puesta en carga de 4 tirantes (dos delanteros y dos traseros) en cada uno de los lados, correspondientes a dos dovelas, se efectuaba en una semana (6 días de trabajo) que coincidía con el tiempo empleado en la construcción de dos dovelas, lo que hizo que el ritmo de ejecución del puente fuera de 16,32 m (4 dovelas) por semana.

El cable está compuesto por varios torones (entre 22 y 80 según su posición en el puente) de acero de pretensar con diámetro nominal de 0,6" suministrado por TYCSA a Huarte y Cia., S. A. bajo unas especificaciones superiores a las normales, fundamentalmente en lo referente a fatiga y mantenimiento de un módulo de elasticidad y una sección real estabilizadas dentro de unos márgenes reducidos durante todo el suministro.

El cable formado por estos torones va dentro de un tubo de PVC, de diámetro y espesor de paredes adecuado para luego admitir la lechada de protección. En los extremos lleva unas zonas reforzadas con tubo de acero para su empalme con la salida de los anclajes y su unión con los amortiguadores.

Los anclajes, suministrados por C.T.T. a FYCEA, constan del anclaje propiamente dicho sobre el que apoya una placa, la cual, mediante cuñas, ancla cada uno de los torones, soportando los esfuerzos de montaje. Posteriormente el anclaje se rellena con un mortero de resinas epoxi, polvo de cinc y bolas de acero, cuya misión, una vez endurecido, es soportar por rozamiento los esfuerzos cíclicos debidos a las sobrecargas y cargas posteriores al montaje.

La conformación del cable se hace en la obra y forma parte del proceso general de montaje que comienza con la colocación de los anclajes delanteros en el tubo de la dovela correspondiente una vez endurecido el hormigón.

Para entonces, y mediante una enfiladora que empuja los torones, situados en bobinas sobre el tablero, a través de unas tuberías que ancladas a la pila llegan hasta el anclaje correspondiente, se ha pasado por el anclaje superior cable suficiente como para enfilear el primer torón dentro del tubo de PVC.

Mediante la grúa torre a que hemos hecho referencia se levanta el tubo de plástico hasta enfrenarlo con la salida del anclaje correspondiente en la torre, momento en que se le sujeta a la misma

mediante una brida. En esta posición se enfila el primer torón.

Se lleva el torón hasta el anclaje, situándolo en su posición adecuada dentro de la placa y se fija provisionalmente. En esta posición se corta el torón a la altura del anclaje de pila y se procede a efectuar un anclaje mediante un manguito de extrusión.

Anclado en la parte superior se procede, mediante un gato unifilar, a dar al torón una carga de dos toneladas con una precisión superior al 5%, y se procede a ponerlo en su carga definitiva de montaje mediante control del alargamiento total.

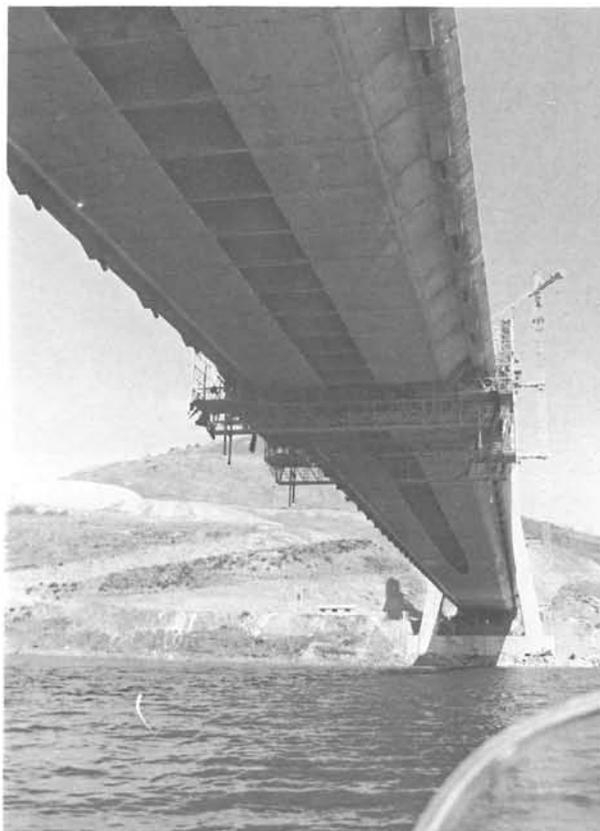
Colocado el primer torón, se procede al enfilar del segundo anclaje provisional en la parte inferior, corte y formación del manguito de extrusión en la superior, tesado a 2 t con gato unifilar y puesta a su carga de montaje mediante control de alargamientos. El mismo proceso se sigue con los siguientes torones hasta un cierto número (entre 1/3 ó 1/5 del total, según el tirante).

El resto de los torones se van enfilando, cortando y colocando el manguito de extrusión pero la carga no se da hasta haber enfilado el último. En este momento se procede a la puesta en carga de todos los torones, uno a uno, hasta su tensión de montaje mediante aplicación inicial de 2 t y control de la carga final por alargamiento.

Acabada la puesta en carga, por el procedimiento indicado, de los dos cables delanteros, se procede a la puesta en carga definitiva de los dos tirantes anteriores mediante 2 gatos de 1.000 t que mueven todo el anclaje dejándolo en su posición definitiva en la que se fija mediante una tuerca que rosca sobre el anclaje y apoya sobre la placa embebida en el hormigón. En este proceso se pasa a destensar el tirante, ya que la tensión inicial de montaje es mayor que la definitiva por razones del proceso constructivo.

Para el manejo de los gatos G-1000 (gatos de 1.000 t) ha sido necesaria la construcción de una plataforma que cuelga bajo la dovela apoyada en sus bordes en la parte superior, así como la de unas mesas hidráulicas que permiten el posicionamiento del gato, mediante inclinación y desplazamiento del mismo.

Terminados los cables delanteros se procede a la ejecución de los traseros, por un procedimiento idéntico al anterior con la salvedad de que, en este caso, la tensión de montaje es la definitiva por lo cual, una vez tesados todos los torones con el gato unifilar, se procede a utilizar el gato G-1000 para el reglaje definitivo del anclaje mediante su tuerca. Para mover el gato G-1000 a lo largo de la galería se ha construido un carro soporte que permite el traslado del gato así como su inclinación y desplazamiento para facilitar el posicionamiento definitivo.



Vista interior del dintel observándose el aligeramiento de su zona central mediante supresión de parte de la losa inferior.

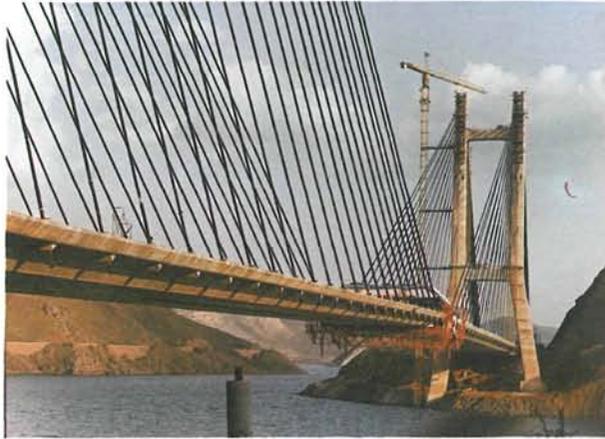
### Construcción del tablero

La ejecución del tablero se comenzó desde los contrapesos hacia el centro del vano; por ello, durante la ejecución de los vanos laterales, en los que no se podía disponer de los correspondientes tirantes por no estar contrapasados los esfuerzos mientras no se pudieran colocar los cables delanteros, fue necesario construir unos pilares bajo cada una de las dovelas que después iban a llevar tirantes y mediante gatos y a través de unos apoyos de neopreno, transmitir a las dovelas los mismos esfuerzos que deberían haber transmitido los tirantes.

Al pasar la pila y poder colocar tirantes delanteros y traseros, a medida que se iban colocando estos últimos se retiraban los apoyos provisionales que quedaban sin carga. Posteriormente se procedió a la demolición de los mismos.

La construcción del dintel se dividió en lo que se llamaba en obra «procesos» los cuales correspondían a un ciclo de operaciones que permitía que, al final del mismo, nos encontrásemos en una situación óptima para controlar tanto las flechas en el dintel como las tensiones en los tirantes.

Este «proceso» consistía en las operaciones siguientes:



Vista de dintel y pila sur desde uno de los puntos de replanteo.



Dintel y pila norte.

- Ejecución de una dovela par (esta dovela no tiene anclaje de tirante).
- Montaje, durante la ejecución de la dovela par, del tirante trasero correspondiente para, una vez hormigonada aquélla, proceder a la puesta en tensión del mismo.
- Hormigonado de la siguiente dovela (impar y que lleva anclaje de tirante).
- Durante el tiempo de fraguado se monta el anclaje delantero y se coloca la vaina del citado tirante.
- Se pretensa la última dovela y se corre el carro a la posición de la siguiente dovela par.
- Se monta y tensa el tirante delantero.
- Se destensa el tirante delantero anterior, poniéndolo a la carga definitiva del proceso.

En este momento se daba por acabado el proceso y se pasaba a comprobar las tensiones en tirantes y a cotejar las flechas reales obtenidas.

Si se observaban discrepancias se revisaba el proceso y se hacían las correcciones necesarias.

### Auscultación y control

Para poder comparar flechas reales con teóricas era fundamental conocer los movimientos del puente originados por los cambios de temperatura.

Se habían efectuado cálculos teóricos del movimiento del puente en función de la temperatura de los cables, de la media del dintel y el gradiente en el mismo entre sus caras superior e inferior.

Para conocer estas temperaturas se instrumentaron varias secciones del tablero, la pila y varios tirantes, tanto en el lado Norte como en el Sur.

Las mediciones se hacían mediante termo-sondas compuestas por circuitos integrados que permitían una precisión en la medida de 0,1 grados. Estas sondas estaban controladas por un microcomputador que controlaba la secuencia de medida y tiempo entre las mismas; efectuaba la conversión de los voltajes a temperaturas y calculaba los datos de entrada (temperatura media en dintel, media en tirantes y gradientes), necesarios para, mediante los cálculos teóricos, poder estimar diferencias de flechas en el tablero y variación de tensión en los tirantes.

Para comprobar la correlación entre los resultados teóricos y la realidad se efectuaron en varias ocasiones mediciones de flechas y tensiones de forma regular a lo largo del día.

Pudimos comprobar variaciones en la flecha, en el extremo en voladizo, entre 1 cm hora y 5 cm hora.

Comparando estos resultados con los obtenidos de los cálculos teóricos observamos que los cálculos concordaban con gran precisión en el caso de las tensiones.

En el caso de las flechas la concordancia era menor observándose errores entre el 6% y el 10%, casi siempre por defecto, es decir, que las flechas medidas eran superiores a las teóricas.

Esto nos llevó a dos conclusiones:

- ★ En primer lugar, decidimos efectuar las mediciones entre las 8 y las 9 de la mañana, periodo en el que no sólo las diferencias en porcentaje eran menores sino que también lo eran en valor absoluto (del orden del mm).
- ★ En segundo lugar se procedió a efectuar un cálculo más detallado en relación a las flechas producidas por los cambios de temperatura en los tirantes, lo que aproximó más la teoría a la realidad.

De todas formas sacamos en conclusión que la instrumentación de tirantes debía haber sido más importante, para poder tener en cuenta los proble-

mas de sombra de las torres y de las montañas próximas sobre el comportamiento global.

### Equipo humano

Para efectuar todos los trabajos mencionados se dispuso del siguiente personal por cada turno.

En la ejecución de dovelas:

- Un encargado.
- Un encargado de ferralla.
- Catorce oficiales que movían el carro, colocaban encofrados, repasaban el pretensado y hormigonaban.
- Diez ferrallistas.
- Dos oficiales para el control de los equipos de calentamiento de áridos y de dovela.

En la ejecución de tirantes:

- Un encargado.
- Doce oficiales y cuatro peones.
- Dos especialistas y dos oficiales para el tensado (este mismo equipo efectuaba el pretensado de las dovelas).

En el control topográfico: un topógrafo, un ayudante y dos aparatistas.

En el control general: un jefe de zona, un topógrafo, un ayudante y dos aparatistas, dos controladores en tesado y un jefe de hormigones.

Todo este personal trabajaba en doble turno de 40 horas semanales.

El relleno de anclajes con resina epoxi y la inyección de mortero en los tirantes se fue ejecutando con posterioridad, exigiendo que la misma se efectuara al menos 10 cables por detrás del último colocado, momento en el que las variaciones de tensión debidas al montaje eran inapreciables.

En primer lugar se rellenaba con epoxi el anclaje inferior. Para este proceso es muy importante el control de las temperaturas del mortero de epoxi ya que si éstas son bajas el endurecimiento se retrasa mucho o incluso no se produce, y si son muy altas, la viscosidad del mortero se eleva dificultando su puesta en obra y el tiempo disponible antes del endurecimiento se acorta a pocos minutos.

El problema de temperaturas altas no es importante en nuestro caso, pero si el de las bajas al tener



Situación en abril 1983.



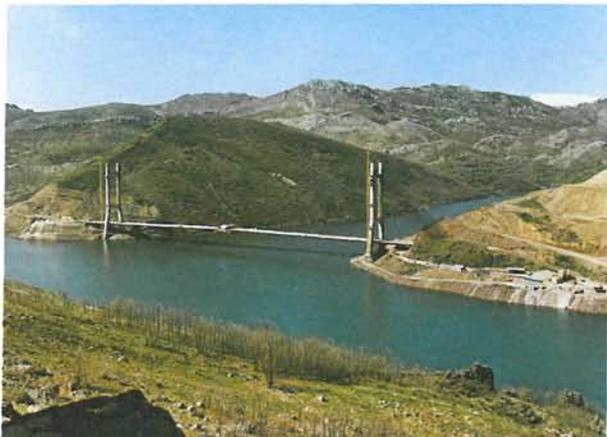
Situación en mayo 1983.

que hacer estos trabajos a partir del mes de marzo (las temperaturas nocturnas por debajo de cero se producen en esta zona hasta el mes de mayo). Por todo ello hubo que preparar un sistema de calefacción de los anclajes que permitiera asegurar temperaturas entre 18 y 25 °C durante al menos 24 horas. También se preparó un almacén calorifugado y una furgoneta de transporte debidamente aislada y con calefacción.

Inyectado el anclaje se procede a la inyección de los cables mediante mortero de cemento, la cual se efectúa en varias fases para lograr una puesta en obra adecuada y para evitar que una presión excesiva pudiera dañar la vaina de PVC o producir exudaciones altas.

Cada una de las fases correspondía a la inyección de unos cuarenta o cincuenta metros de cable. Para ello se utilizaba un equipo automático que perforaba la vaina, posicionaba la manguera de inyección y, una vez terminada ésta, obturaba el agujero de la vaina.

Los mayores problemas en la inyección se produjeron por la rápida desecación de la lechada pues la presión a que estaba sometida, junto con el efecto filtro producido por los torones que forman el cable, separaban muy rápidamente el agua, con



Situación en junio 1983.-

lo que se formaba un tapón de mortero, muy seco, que hacía muy difícil la inyección. La solución se obtuvo mediante el empleo de un aditivo que retiene el agua dentro del mortero formando un compuesto tixotrópico.

Acabada esta inyección y una vez purgada el agua de exudación de la parte superior del cable se procede a rellenar de resina epoxi el anclaje superior, siguiendo el mismo procedimiento que para los inferiores.

El puente está articulado en el centro y con libre movimiento longitudinal para permitir los movimientos producidos por retracción, fluencia y dilatación. Esta situación exige la ejecución, en el centro del vano, de una rótula que permita giros verticales y desplazamientos horizontales a lo largo del eje del puente y que impida el resto de los movimientos.

Esto se consigue mediante una doble rótula deslizante (PM) proyectada especialmente para este caso. Por otro lado la junta de calzada también se ha tratado adecuadamente ya que los movimientos previstos son de 500 mm.

La ejecución de esta última dovela se hizo utilizando los dos carros de avance ligeramente modificados, y los trabajos fueron muy delicados por la necesidad de no transmitir esfuerzos al hormigón fresco después de ejecutada esta dovela, a pesar de los movimientos que se producían duran-

te el día debido a la variación de temperatura (el puente en este punto se movía durante el día del orden de los 15 cm).

Los remates se hicieron con cariño, tanto durante la ejecución de los hormigones, como en las aceras, barandillas, defensas, rodadura, etc. para hacer honor a la calidad general del proyecto.

Tanto el proyecto como la construcción se han dirigido no sólo a la ejecución de una estructura fiable desde el punto de vista resistente sino también a lograr una obra equilibrada y estética que sirva para disfrute de los usuarios de la autopista.

El proyecto fue realizado por Javier Manterola Armissen y Leonardo Fernández Troyano, directores de CARLOS FERNANDEZ CASADO, S. A., en colaboración con Miguel Angel Astiz y Miguel Angel Gril de la misma empresa. Las obras fueron contratadas por HUARTE Y CIA., S. A., siendo responsable de las mismas José M. López Sáiz. Los jefes de obra fueron Enrique Suárez Cuevas y José Luis Escudero Villarín, en diferentes fases de las mismas, bajo las órdenes de Alfonso García Jiménez, jefe del tramo de autopista.

Como jefes de ejecución en cada uno de los lados estuvieron Javier Ubierna Moreno y Nicolás Poyato Ferrer, auxiliados por los encargados generales Manuel Nieto Oro y José Dorado Lozano.

Por parte de AUCALSA, empresa concesionaria de la autopista, el máximo responsable fue Javier Núñez Martínez, subdirector general y jefe de construcción de la misma, auxiliado por Vicente Tercero López como subdirector de Construcción: José Morant Cardona como jefe de la Unidad Técnica del tramo de León, por Félix Otaegui como jefe de control del puente y Javier Arraiza, jefe de Control y Calidad del tramo de autopista.

Durante la ejecución, el seguimiento de obra se llevó a cabo por Pablo Díaz Simal y Amando López Padilla de CARLOS FERNANDEZ CASADO, SOCIEDAD ANONIMA, con permanencia constante en obra.

Las obras de cimentación comenzaron en diciembre de 1979 y la ejecución del dintel, tras diversas vicisitudes, por problemas de financiación general de la autopista, en julio de 1982, finalizándose los trabajos en agosto de 1983.

